

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 739 045

(21) N° d'enregistrement national : 95 11300

(51) Int Cl⁶ : B 21 K 3/04, B 23 P 15/04, B 23 K 20/18, F 01 D
5/18B 23 K 101:04

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 27.09.95.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 28.03.97 Bulletin 97/13.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET
DE CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION
SNECMA SOCIETE ANONYME — FR et DASSAULT
AVIATION — FR.

(72) Inventeur(s) : BICHON MATHIEU PHILIPPE
ALBERT, COUDRAY XAVIER GERARD ANDRE,
DEBLOIS ALEX PIERRE, HUON DE KERMADEC
CHRISTOPHE NICOLAS MARIE et LACUISSE JEAN
FRANCOIS GEORGES JULIEN.

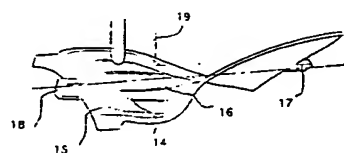
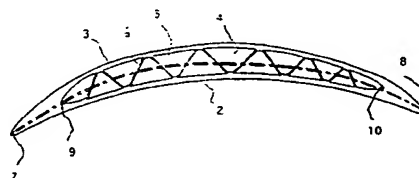
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET DE
CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION
SNECMA.

(54) PROCEDE DE FABRICATION D'UNE AUBE CREUSE DE TURBOMACHINE.

(57) Une aube creuse de turbomachine constituée de deux
peaux (2, 3) formant une cavité interne (4) et reliées par
des raidisseurs (6) est obtenue par le procédé suivant:

- forgeage et usinage des pièces primaires, en ménageant une réserve de matière dans les zones localisées (14, 15) de la face interne des peaux, des tourillons d'extrémité (17, 18) et des trous de locating (19);
- dépôt de barrières de diffusion suivant les étapes: application d'un masque, découpe grâce à un outil spécifique, pelage, dépôt d'un produit de revêtement, pelage, traitement de précuisson, nettoyage et contrôle;
- assemblage des pièces primaires puis soudage-diffusion en pression isostatique;
- gonflage sous pression de gaz et formage superplastique pour obtenir la mise en forme des peaux reliées par les raidisseurs comportant les étapes: décollement à froid des pièces primaires, fluage de la matière réservée en surpasseur (14) autour, de la cavité d'aube, fermage suivi d'une extraction grâce à un moyen mécanique assurant une mise sous contrainte de l'aube.



FR 2 739 045 - A1



DESCRIPTION

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE AUBE CREUSE DE TURBOMACHINE

La présente invention concerne un procédé de fabrication
5 d'une aube creuse de turbomachine.

Les avantages découlant de l'utilisation d'aubes à grande
corde pour les turbomachines sont apparus notamment dans le
cas des aubes de rotor de soufflante des turboréacteurs à
10 double flux. Ces aubes doivent répondre à des conditions
sévères d'utilisation et posséder notamment des
caractéristiques mécaniques suffisantes associées à des
propriétés d'endurance aux vibrations et de résistance aux
impacts de corps étrangers. L'objectif de vitesses
15 suffisantes en bout d'aube a en outre amené à rechercher une
réduction des masses. Ce but est notamment atteint par
l'utilisation d'aubes creuses.

L'aube de soufflante a une géométrie spécifique liée à la
20 faible dimension de moyeu qui conduit à avoir une aube très
cambrée en pied et un profil très plat en sommet de pale pour
un taux de compression sensiblement constant sur la hauteur.
De plus, il faut élaborer une forme géométrique adéquate de
transition entre l'attache de l'aube et la pale aérodynamique
25 proprement dite. Cela conduit à une géométrie fortement
tridimensionnelle sur l'arrière du profil en partie basse
appelée "cuillère" avec un cambrage dans le sens du profil et
une cambrure dans le sens radial.

30 Pour avoir une bonne tenue mécanique des aubes de soufflante
creuses en alliage de titane, un soin particulier doit être
apporté sur la conception de la géométrie interne et sa
qualité de réalisation se traduisant par les spécifications
suivantes :

35

- formation de rayon de raccordement au bord d'attaque et
bord de fuite entre les deux peaux primaires intrados et
extrados ;

- formation de rayon de raccordement entre le raidisseur et les peaux primaires intrados et extrados ;
 - striction très faible dans les raidisseurs ;
- 5
- conservation des qualités mécaniques du métal de base lors de la réalisation de soudure diffusion, d'excellente qualité dans toutes les jonctions peaux/raidisseur ;
- 10
- obtention d'un état de surface des cavités internes après gonflage conforme aux exigences usuelles des pièces en titane ;
-
- optimisation de la gamme de fabrication afin de ne pas
- 15
- dégrader les caractéristiques mécaniques intrinsèques des aubes de soufflante en titane forgé.

En outre le procédé de fabrication doit permettre la fabrication de pièces ayant des paramètres géométriques évolutifs (variation d'épaisseur de peaux primaires du raidisseur, variation de l'angle de formage du raidisseur, variation de la largeur des zones soudées...).

La pièce fabriquée doit en effet être conforme aux exigences d'une géométrie optimisée ayant une bonne tenue à la fatigue vibratoire, une bonne tenue à l'ingestion et remplir toutes les conditions de conception pour la durée de vie recherchée sur moteur.

On connaît notamment un procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine comportant les étapes suivantes :

- (a) à partir de la définition d'une aube à obtenir, étude en utilisant des moyens de Conception et Fabrication Assistés par Ordinateur / CFAO des pièces constitutives de l'aube ;
- 35
- b) forgeage sur presse des pièces primaires ;
 - c) usinage des pièces primaires ;

d) dépôt de barrières de diffusion suivant un motif prédéfini;

e) assemblage des pièces primaires suivi du soudage-diffusion
5 en pression isostatique ;

f) gonflage sous pression de gaz et formage superplastique ;

g) usinage final.

10

Le but de l'invention est d'apporter aux nombreux procédés connus de fabrication d'aubes creuses des améliorations ou des spécificités substantielles visant notamment à obtenir des aubes présentant des caractéristiques mécaniques dans les
15 conditions d'utilisation, grâce à une géométrie adéquate, en particulier en ce qui concerne la réalisation de la cavité de l'aube.

Ces buts sont atteints par un procédé de fabrication d'une
20 aube creuse de turbomachine, du type précité, caractérisé en ce que

- à l'étape (c), une réserve de matière dans des zones localisées de la face interne des peaux est aménagée et aux
25 étapes (b) et (c), des éléments formant tourillon sont disposés à chaque extrémité des pièces primaires et au moins deux trous de locating sont aménagés sur chaque pièce,

30 - l'étape (d) est effectuée suivant le déroulé suivant :

* (d1) application d'un masque de type organique sur au moins une face d'au moins l'une des pièces primaires ;

35 * (d2) découpe du masque suivant un motif prédéfini représentant les limites des zones soudées et non soudées

- au moyen d'un outil spécifique sur machine à commande numérique, au cours de laquelle dans les zones correspondant aux raccordements du côté des bords d'attaque et de fuite de l'aube où se forme un rayon de cavité ainsi que dans les zones du rayon de raccordement entre les raidisseurs et les peaux, un réglage de la position de découpe du masque permet un décalage de la limite de soudure ;
- 5
- 10 * (d3) pelage des zones non soudées ;
- * (d4) nettoyage des surfaces ;
- 15 * (d5) dépôt d'un produit de revêtement formant une barrière de diffusion sur les surfaces précédemment préparées ;
- * (d6) pelage du masque restant ;
- 20 * (d7) traitement de précuisson du produit d'anti-diffusion ;
- * (d8) nettoyage et contrôle des surfaces à souder ;
- 25 - à l'étape (e), l'étape d'assemblage des pièces primaires est effectuée en utilisant lesdits tourillons d'extrémités et des pions de positionnement latéraux placés dans lesdits trous de locating ;
- 30 - à l'étape (f), un cycle prédéterminé de mise en pression de formage est appliqué comportant,
- * (f1) avant démarrage du gonflage, un décollement des pièces primaires à froid est effectué ;
- 35 * (f2) après la fermeture du moule dans lequel est placée

la pièce sous forme de sandwich obtenue à l'issue de l'étape (e), un fluage de la matière prévue en surépaisseur autour de la cavité de l'aube est effectué avant le gonflage ;

5

* (f3) après formage, l'aube est extraite du moule à la température de formage grâce à un moyen mécanique assurant une mise sous contrainte de l'aube.

10 Les dispositions de la présente invention permettent d'obtenir la géométrie interne assurant les propriétés recherchées de l'aube et notamment :

- une géométrie générale de la section principalement le
15 nombre, la forme et la position des raidisseurs ainsi que la position et la largeur de la cavité ;

- une géométrie locale principalement aux limites de soudure départ cavité et liaison peau/raidisseurs. Par convention,
20 nous ne différencierons pas le rayon de cavité du bord d'attaque et celui du bord de fuite qui sera dénommé rayon de cavité. De la même façon nous ne dissociérons pas les rayons de liaison peau/raidisseur quelle que soit leur position et nous les appellerons rayon de départ
25 peau/raidisseur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre des modes de réalisation de l'invention, en référence aux
30 dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue de face d'une aube creuse de turbomachine obtenue par le procédé de fabrication conforme à l'invention ;
35 - la figure 2 représente une vue schématique en coupe par un

- plan transversal de l'aube représentée sur la figure 1 ;
- la figure 3 montre un détail de liaison entre deux éléments de l'aube représentée sur les figures 1 et 2 ;
 - la figure 4 représente une vue partielle montrant les
- 5 détails de l'aube représentée sur les figures 1 et 2 ;
- la figure 5 représente une vue schématique en perspective des pièces brutes utilisées dans le procédé de fabrication conforme à l'invention ;
 - la figure 6 représente une vue schématique en perspective
- 10 d'un élément constitutif de l'aube représentée sur les figures 1 et 2 au stade de l'usinage ;
- les figures 7 et 8 représentent des vues partielles en coupe des éléments de l'aube représentée sur les figures 1 et 2 montrant des surépaisseurs aménagées au stade de l'usinage ;
- 15 - la figure 9 représente une vue en perspective d'un élément de l'aube représentée sur les figures 1 et 2 montrant la mise en place d'un masque ;
- la figure 10 représente selon une vue schématique en coupe l'élément représenté sur la figure 9 ;
- 20 - la figure 11 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle de la figure 10 l'élément représenté sur les figures 9 et 10 au stade de la découpe du masque ;
- la figure 12 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle des figures 10 et 11 l'élément représenté
- 25 sur les figures 9 à 11 au stade du pelage du masque ;
- la figure 13 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celles des figures 10 à 12 l'élément représenté sur les figures 9 à 12 selon une variante du stade de la découpe du masque ;
- 30 - la figure 14 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle des figures 10 à 13 l'élément de la figure 13 au stade du pelage du masque ;
- la figure 15 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle des figures 10 à 14 l'élément des figures

- 13 et 14 au stade de l'usinage chimique de rainures ;
- la figure 16 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle des figures 10 à 15 l'élément des figures 13 à 15 au stade du pelage du masque restant ;
- 5 - la figure 17 représente selon une vue schématique en coupe similaire à celle des figures 10 à 16 l'élément représenté sur la figure 9 à la suite d'un usinage chimique effectué en variante ;
- la figure 18 représente selon une vue schématique en coupe
- 10 similaire à celle des figures 10 à 17 l'élément de la figure 17 à la suite de la réalisation de zones rainurées ;
- les figures 19 et 20 représentent selon des vues schématiques en coupe similaire à celles des figures 10 à 18 respectivement l'élément de la figure 17 et l'élément de la
- 15 figure 18 au stade du dépôt d'une barrière de diffusion ;
- les figures 21 et 22 représentent selon des vues schématiques en coupe similaires à celles des figures 10 à 20 respectivement l'élément des figures 17 et 19 et l'élément des figures 18 et 20 au stade de pelage du masque restant ;
- 20 - la figure 23 représente selon une vue en perspective l'assemblage des pièces primaires constitutives de l'aube ;
- la figure 24 représente selon une vue en perspective l'achèvement de l'assemblage schématisé sur la figure 23 ;
 - les figures 25 et 26 montrent selon des vues partielles
- 25 schématiques en coupe deux détails de réalisation de méplats dans la liaison entre éléments de l'aube ;
- la figure 27 représente selon une vue schématique en perspective les deux parties constitutives du moule utilisé dans l'étape de formage superplastique de l'aube selon le
- 30 procédé conforme à l'invention ;
- la figure 28 représente selon une vue similaire à celle de la figure 7 un détail montrant un défaut de fabrication.

Une aube 1 creuse de turbomachine, notamment une aube de
35 soufflante à grande corde destinée par exemple à un
turboréacteur à double flux est schématiquement représentée

sur les figures 1 et 2. L'aube 1 est constituée d'une peau d'intrados 2, d'une peau d'extrados 3, ces peaux étant écartées pour former une cavité interne 4 dans laquelle est disposé un élément 5 formant de multiples raidisseurs 6 qui assurent la liaison entre les peaux 2 et 3. Dans l'aube 1 obtenue selon le procédé de fabrication dont les améliorations font l'objet de l'invention, lesdites peaux 2 et 3 sont soudées sur leurs bords pour former un bord d'attaque 7 et un bord de fuite 8 et la cavité 4 de l'aube 1 présente un rayon 9 du côté du bord d'attaque et un rayon 10 du côté du bord de fuite 8. De même, l'élément 5 comporte des zones soudées, les unes sur la peau d'intrados 2 et les autres sur la peau d'extrados 3 et ainsi les liaisons entre les raidisseurs 6 et les peaux 2 et 3 forment des rayons tels que 11 et 12, comme schématisé sur la figure 3.

Le première étape (a) du procédé, conforme à l'invention, de fabrication d'une aube creuse telle que 1 de soufflante de turbomachine comporte, à partir du dessin de la pièce finie une étude faisant appel à des moyens connus en soi de Conception et Fabrication Assistés par Ordinateur ou CFAO.

Cette étude permet de simuler un dégonflage de la peau d'extrados 3 et la construction de l'élément 5 ou tôle centrale de manière à faire reposer ces deux éléments sur la tôle intrados ou à les placer à une distance connue. Le logiciel de simulation utilisé permet de préciser le mouvement relatif des tôles lors du formage. Pour obtenir la géométrie ainsi définie, chaque élément constitutif de l'aube, respectivement 2, 3 et 5, appelé pièce primaire reçoit des surépaisseurs compatibles avec le processus de forgeage prévu, comme schématisé sur la figure 4.

La figure 5 montre les pièces brutes 13 à l'origine de ces éléments constitutifs 2, 3 et 5 de l'aube avec leur surépaisseur d'usinage et qui sont obtenues par forgeage et matriçage sur presse. Ce processus amélioré permet d'obtenir

une géométrie et un produit d'une grande précision avec des caractéristiques mécaniques améliorées, suivant l'étape (b) du procédé.

5 A l'étape (c), les pièces brutes 13 sont usinées, comme représentées sur la figure 6. La finition de la surface interne des pièces primaires est réalisée par tout procédé d'usinage connu en soi. A ce stade et de manière avantageuse, une surépaisseur de matière peut être aménagée sur les peaux
10 primaires sur tout le pourtour de la zone de ces peaux destinée à former la cavité d'aube. Cette partie 14 en surépaisseur constitue alors une zone de fluage destinée à être ultérieurement déformée plastiquement. De la même manière, une partie 15 en surépaisseur sur le pourtour de
15 pièce est destinée à assurer lors de l'assemblage un espacement entre les tôles. La figure 7 montre un détail de ces surépaisseurs 14 et 15.

De manière avantageuse, des surépaisseurs localisées de type
20 méplats 16 peuvent également être aménagées à l'étape (c) sur la face interne des peaux primaires dans les zones d'emplacement des soudures de liaison entre peau et raidisseur, comme schématisé sur la figure 8.

Les peaux primaires telles que 13 comportent à chaque
25 extrémité des tourillons 17 et 18 qui seront utilisés lors des étapes suivantes du procédé. En outre, au moins deux trous 19 de locating sont usinés sur les pièces primaires. De manière avantageuse, l'opération d'usinage peut être effectuée sur des outillages à dépression de manière à
30 assurer la précision recherchée du positionnement des zones de cavité l'une par rapport à l'autre. Ces précautions sont essentielles pour obtenir les rayons de cavité adéquats.

A l'étape d, un dépôt de barrières de diffusion est effectué suivant un motif prédéfini. De façon plus détaillée, cette
35 opération est décomposée de la manière suivante :

- (d1) application d'un masque 20 de type organique sur au moins une face d'au moins une des pièces primaires 13, telle que représentée sur les figures 9 et 10,
- 5
- (d2) découpe du masque 20 suivant un motif prédéfini représentant les limites des zones soudées et non soudées, comme le schématise la figure 11. L'utilisation d'un outil spécifique sur machine à commande numérique permet un
- 10 réglage précis de la position de découpe du masque.

La découpe peut ainsi être réalisée à l'aide d'une molette telle que 21 présentant des flancs dissymétriques 22 et 23, sur une machine à commande numérique. La forme déterminée de

15 la molette 21 et un réglage judicieux de la pression d'outil assurent une découpe de haute précision.

Cette opération de découpe peut également être réalisée au moyen d'un scalpel asservi par un système électro-pneumatique de manière à assurer une découpe nette sans créer de dommage

20 sur la pièce primaire 13.

En fonction des applications particulières, un usinage au laser à faible puissance peut être utilisé pour une découpe nette sans créer de dommage sur la pièce primaire 13.

25 La sous-étape (d3) comporte le pelage des zones 24 non soudées, comme schématisé sur la figure 12.

Une première variante prévoit des sous-étapes complémentaires:

- 30 - (d2') découpe du masque 20, en créant des zones rainurées 25 suivant un motif prédéfini représentant des parallèles aux zones soudées, comme le schématise la figure 13,
- (d3') pelage des zones 25 à rainurer en bordure des zones à souder entre peaux et raidisseurs, comme schématisé sur la
- 35 figure 14,
- (d3'') usinage chimique de rainures dans lesdites zones découvertes en (d3'), comme schématisé sur la figure 15,

- (d3''') pelage du masque restant afin de découvrir les zones 24 comme le schématise la figure 16.

Une autre variante prévoit un usinage chimique, par exemple d'une profondeur maximale de 0,75 mm, afin de créer une limite franche en bordure de découpe, comme schématisé sur la figure 17 montrant les zones 24 ou sur la figure 18 avec les zones rainurées 25.

Le procédé se poursuit par les sous-étapes suivantes :

10

- (d4) nettoyage des surfaces
- (d5) dépôt d'un produit de revêtement 26 formant une barrière de diffusion sur les surfaces précédemment préparées, comme indiqué sur les figures 19 et 20 avec ou sans rainures. Ledit produit est déposé par pulvérisation en couches successives d'une épaisseur pouvant atteindre 40 μ m. Après chaque application, on réalise un séchage.
- (d6) pelage du masque restant, la pièce étant maintenue dans une position évitant toute retombée de produit antidiffusion sur les zones à souder. Le résultat obtenu est schématisé sur les figures 21 et 22, avec ou sans rainures.
- (d7) traitement de pré cuisson du produit d'anti-diffusion. La température est choisie entre 250°C et 350°C durant un temps prédéterminé pour assurer un taux de dégradation de la majeure partie du liant contenu dans le produit antidiffusion compatible avec la suite des opérations et de manière à éviter toute oxydation des pièces, cette dégradation s'effectuant en l'absence d'air ;
- (d8) les zones à souder sont nettoyées, leur propreté est soigneusement contrôlée, par exemple sous lumière ultraviolette.

A l'étape suivante (e), les pièces primaires 13, 27, 28 constitutives de l'aube, telles que représentées sur la figure 23 sont assemblées en utilisant les tourillons 17 et 18 et en plaçant des pions 29 de positionnement latéraux dans

les trous 19 précédemment ménagés sur lesdites pièces primaires. L'assemblage effectué permet d'obtenir un parfait alignement des différentes pièces et des zones en vis à vis destinées à la formation des cavités internes de l'aube et
5 ces dispositions permettront notamment l'obtention de la valeur adéquate du rayon de cavité.

La figure 24 schématise l'achèvement de cet assemblage. Le contour du sandwich 30 obtenu est fermé, par exemple au moyen
10 d'une soudure 31 à l'arc TIG, par faisceau d'électrons ou au laser. A chaque extrémité on soude des tubes 30 et au moyen de ces tubes 32, le vide est réalisé uniformément à l'intérieur du sandwich 30 puis est maintenu par scellement de ces tubes 32. La présence de la surépaisseur 15 en
15 périphérie des peaux intrados 28 et extrados 27 permet de ménager un espace constant entre les pièces constitutives de l'aube, lors de l'assemblage.

En variante, à la suite de l'assemblage du sandwich 30, il
20 est possible de réaliser la cuisson du produit de diffusion mis en place à l'étape précédente (d).

Après assemblage, le sandwich 30 est soudé par diffusion dans une enceinte de compression isostatique, de manière à assurer
25 un contact intime des pièces 13, 27 et 28 constitutives de l'aube.

Au cours de cette opération, les mouvements induits lors de la mise sous pression accompagnant la mise en contact des
30 surfaces internes peuvent entraîner par frottement le déplacement et/ou la détérioration de la limite du produit anti diffusion. Les détails de réalisation représentés sur les figures 25 et 26 montrent dans un cas la présence de méplats positifs 16 et de rainures latérales 25 et dans
35 l'autre cas de méplats négatifs 33 et de rainures latérales 25 sur les pièces primaires dans les zones destinées à

constituer les liaisons entre raidisseurs et peaux comme représenté sur le détail de pièce de la figure 3. La présence des rainures 25 protège cette limite de produit antidiffusion sur les pièces constitutives de l'aube en la plaçant au-
5 dessous du niveau du plan de soudure. La présence d'un espace constant à l'assemblage entre les pièces constitutives de l'aube grâce à la surépaisseur 15, comme précédemment décrit, en référence à la figure 6, assure lors de la soudure-diffusion une fonction de piège à impureté. Les défauts en
10 découlant éventuellement sont alors localisés dans des zones destinées à être chutées.

A l'étape suivante (f), est effectué un formage des pièces constitutives de l'aube 1 dans des conditions superplastiques
15 en appliquant dans la cavité interne 4 une pression de gonflage de manière à obtenir, comme schématisé sur la figure 2, le profil recherché sur les surfaces aérodynamiques de pale d'aube côté intrados 2 et côté extrados 3 et la mise en place des raidisseurs 6 issus de la pièce primaire centrale
20 13. Dans ce but, le sandwich 30 est mis en place dans un moule 34 schématiquement représenté sur la figure 27. Le moule 34 est en deux parties 35 et 36 et ses caractéristiques permettent d'assurer un positionnement relatif précis des deux parties 35 et 36, suivant les six degrés de liberté. Le
25 moule 34 comporte notamment des butées anti-rotation 37 dont la position ainsi que les moyens de fermeture du moule déterminés permettent d'assurer un blocage des parties 35 et 36 en rotation horizontale et en translation, dès le début du cycle de formage. Les V de centrage 38 de la partie
30 inférieure 35, au droit des tourillons 17 et 18, aux extrémités de pièce, assurent la position adéquate de celle-ci dans le moule 34. Grâce à ce positionnement rigoureux de l'ébauche d'aube dans le moule 34 on évite tout déport de l'aube, notamment un déplacement latéral qui aurait pour
35 effet de venir écraser les rayons de cavité 9 et 10. Ces caractéristiques de positionnement du moule et de l'aube

concourent ainsi à l'obtention des dimensions et formes des rayons de départ de cavité d'aube recherchés pour l'aube finie.

Avant l'opération de formage proprement dite, une sous-étape 5 (f1) est effectuée avant démarrage du gonflage, comportant un décollement des pièces primaires à froid qui est nécessité par l'état de compactage du produit antidiffusion. Un cycle prédéterminé de mise en pression de formage est ensuite appliqué comportant notamment la mise en pression mécanique 10 dès le démarrage du gonflage, de manière à assurer une absence de défauts sur la pièce obtenue. Un asservissement est notamment établi entre la pression de serrage du moule et la pression de gonflage. Une sous-étape (f2) intervient après la fermeture du moule 34 au cours de laquelle on réalise un 15 fluage de la surépaisseur 14 localisée autour de la zone de formation de la cavité d'aube et précédemment mentionnée. Un enchaînement piloté des phases successives, fluage puis gonflage permet simultanément de générer la géométrie interne de l'aube et d'éviter des défauts de peau au droit des 20 départs de cavité. Durant le formage, le cycle défini pour l'application de la pression gazeuse interne peut notamment respecter une vitesse de déformation contrôlée, de manière à assurer l'obtention des rayons de cavité, des rayons dans les zones de liaison entre peaux et raidisseurs, de l'état de 25 surface de rayon requis ainsi que de l'absence de striction du raidisseur. La figure 28 montre ainsi un détail de défaut de striction 39 sur un raidisseur qui est évité par le procédé conforme à l'invention. La maîtrise du taux de déformation obtenue grâce aux caractéristiques de 30 positionnement du moule et à l'application du cycle de formage permet d'assurer la valeur recherchée des rayons 9,10,11 et 12.

A la sous-étape suivante (f3), après formage, l'aube 1 est extraite du moule 34 par un moyen mécanique, incluant une 35 mise sous contrainte qui maintient la géométrie de la pièce lors de cette opération qui est réalisée en maintenant la température de formage.

L'étape suivante (g) comporte enfin l'usinage final et les opérations de finition de la pièce, de manière connue en soi. Les modalités particulières de réalisation du procédé conforme à l'invention de fabrication d'une aube 1 creuse de 5 turbomachine qui viennent d'être décrites assurent l'obtention des résultats recherchés et notamment la qualité technique de l'aube 1. On rappellera brièvement ces principaux résultats précédemment détaillés :

- 10 - obtention de la valeur des rayons 9 et 10 de départ de cavité recherchés et de la valeur du rayon de départ de soudure dans la zone de liaison entre les peaux 2 et 3 et les raidisseurs 6,
- 15 - positionnement adéquat de la ligne de soudure dans les zones mentionnées ci-dessus, au rayon de cavité et au rayon entre peaux et raidisseurs,
- 20 - qualité métallurgique du métal de base obtenue dans les zones mentionnées ci-dessus,
- état de surface adéquat dans le rayon 9 ou 10 de départ de cavité de l'aube,
- rectitude et netteté des départs de soudure entre peaux et 25 raidisseurs,
- rectitude et absence de striction des raidisseurs 6,
- 30 - qualité de la géométrie extérieure de l'aube 1, notamment concernant la forme du profil, le vrillage, le cambrage et le désaxage.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine, notamment une aube de rotor de soufflante à grande corde, 5 comportant les étapes suivantes :

- a) à partir de la définition d'une aube (1) à obtenir, étude en utilisant des moyens de Conception et Fabrication Assistés par Ordinateur /CFAO des pièces (2,3,5) 10 constitutives de l'aube ;
- (b) forgeage sur presse des pièces primaires (13) ;
- (c) usinage des pièces primaires (13) comprenant une peau 15 d'intrados, une peau d'extrados et au moins une pièce centrale ;
- (d) dépôt de barrières de diffusion suivant un motif prédéfini ; 20
- (e) assemblage des pièces primaires suivi du soudage-diffusion en pression isostatique ;
- (f) gonflage sous pression de gaz et formage superplastique 25 de manière à obtenir la mise en forme des peaux d'intrados et d'extrados de l'aube séparées par une cavité centrale et reliées par des raidisseurs soudés obtenus à partir de ladite pièce centrale ;
- 30 - (g) usinage final ;

caractérisé en ce que,

- à l'étape (c), une réserve de matière dans des zones 35 localisées (14,15) de la face interne des peaux est aménagée et aux étapes (b) et (c), des éléments formant

tourillon (17,18) sont disposés à chaque extrémité des pièces primaires et au moins deux trous de locating (19) sont aménagés sur chaque pièce,

5 - l'étape (d) est effectuée suivant le déroulé suivant :

- * (d1) application d'un masque (20) de type organique sur au moins une face d'au moins l'une des pièces primaires ;
 - * (d2) découpe du masque (20) suivant un motif prédéfini représentant les limites des zones soudées et non soudées
10 au moyen d'un outil spécifique sur machine à commande numérique, un réglage de la position de découpe du masque permettant un contrôle de la position des soudures dans les zones correspondant aux raccordements du côté des bords d'attaque et de fuite de l'aube où se forme un
15 rayon de cavité ainsi que dans les zones du rayon de raccordement entre les raidisseurs et les peaux ;
 - * (d3) pelage des zones non soudées ;
 - * (d4) nettoyage des surfaces ;
 - * (d5) dépôt d'un produit de revêtement formant une
20 barrière de diffusion sur les surfaces précédemment préparées ;
 - * (d6) pelage du masque restant ;
 - * (d7) traitement de pré cuisson du produit d'anti-diffusion ;
 - 25 * (d8) nettoyage et contrôle des surfaces à souder ;
- à l'étape (e), l'étape d'assemblage des pièces primaires est effectuée en utilisant lesdits tourillons (17,18) d'extrémité et des pions (29) de positionnement latéraux
30 placés dans lesdits trous (19) de locating ;
- à l'étape (f), un cycle prédéterminé de mise en pression de formage est appliqué comportant,
- * (f1) avant démarrage du gonflage, un décollement des
35 pièces primaires à froid est effectué ;

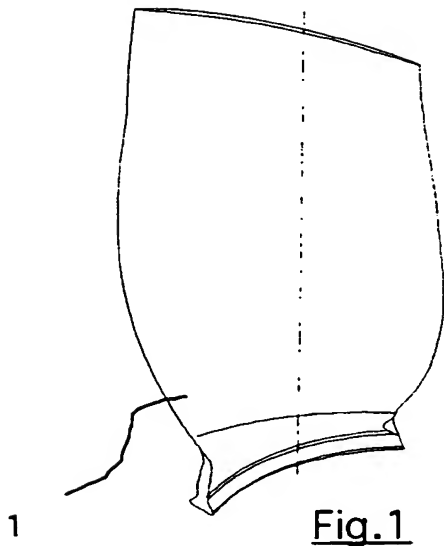
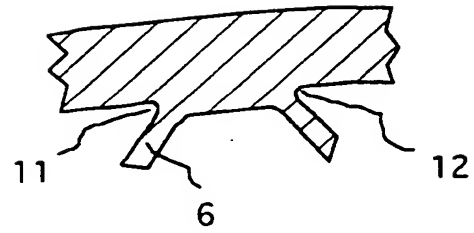
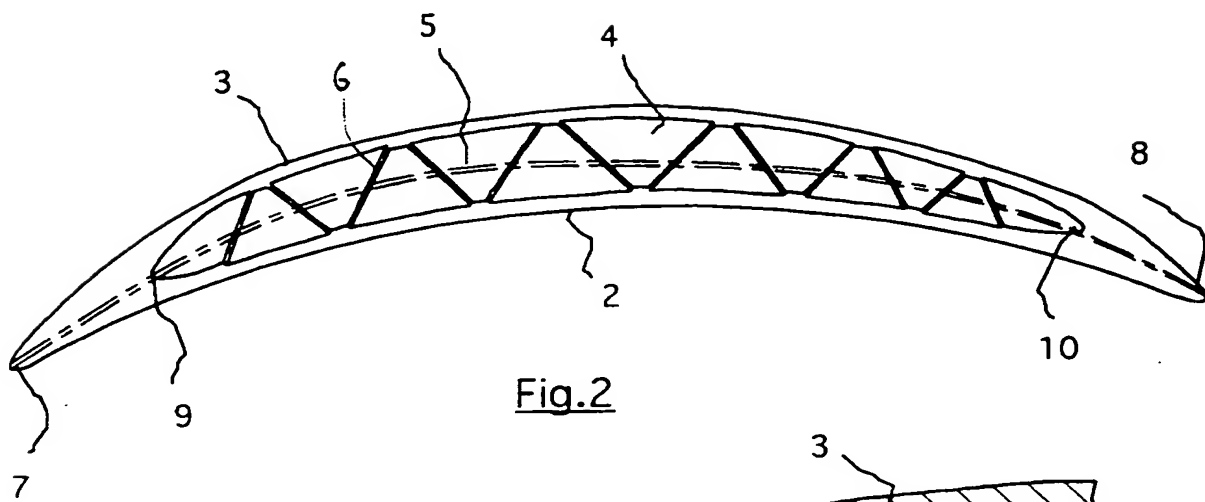
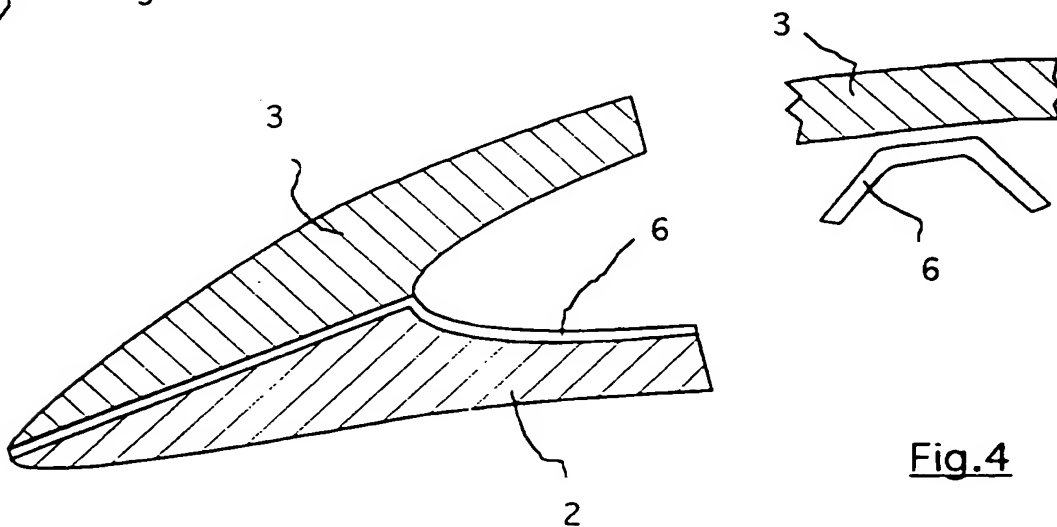
- * (f2) après la fermeture du moule dans lequel est placée la pièce en forme de sandwich obtenue à l'issue de l'étape (e), un fluage de la matière (14) prévue en surépaisseur autour de la cavité de l'aube est effectué avant le gonflage ;
- * (f3) après formage, l'aube est extraite du moule à la température de formage grâce à un moyen mécanique assurant une mise sous contrainte de l'aube.
- 10 2. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon la revendication 1 dans lequel à l'étape (d2) l'outil spécifique utilisé est une molette (21) à flancs dissymétriques (22, 23) de manière que la forme déterminée de la molette et le réglage de la pression
- 15 d'outil assurent une découpe de haute précision.
3. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon la revendication 1 dans lequel à l'étape (d2) l'outil spécifique est un scalpel asservi par un système
- 20 électro-pneumatique de manière à assurer une découpe nette sans créer de dommage sur la pièce primaire.
4. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon la revendication 1 dans lequel à l'étape (d2), la
- 25 découpe du masque est effectuée au moyen d'un usinage laser à faible puissance assurant une découpe nette sans créer de dommage sur la pièce primaire.
5. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine
- 30 selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel l'étape (d3) est décomposée en sous-étapes :
- (d3') pelage de zones à rainurer (25) ;
 - (d3'') usinage chimique de rainures en bordure des zones à souder ;
 - 35 - (d3''') second pelage des zones non soudées.

- 5 6. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel l'étape (d2) est précédée des sous-étapes suivantes :
- (d1.1) pelage des zones à souder ;
 - (d1.2) usinage chimique des zones découvertes ;
 - 10 - (d1.3) seconde application d'un masque sur les zones à souder.
- 15 7. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel à l'étape (c) une surépaisseur (14) de matière est aménagée sur tout le pourtour de la zone des peaux primaires destinée à former la cavité d'aube, cette partie en surépaisseur constituant une zone de fluage déformée plastiquement à l'étape (f).
- 20 8. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel à l'étape (c) des surépaisseurs localisées de type méplats (16) sont aménagées sur la face interne des peaux primaires dans les zones d'emplacement des soudures de liaison entre peau et raidisseur.
- 25 9. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel à l'étape (e), après assemblage des pièces primaires formant un sandwich (30), le contour du sandwich (30) est fermé en réalisant une étanchéité et des tubes (32) sont soudés en extrémité.
- 30 10. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon la revendication 9 dans lequel la fermeture (31) du sandwich (30) est obtenue par soudage TIG ou à faisceau d'énergie.
- 35

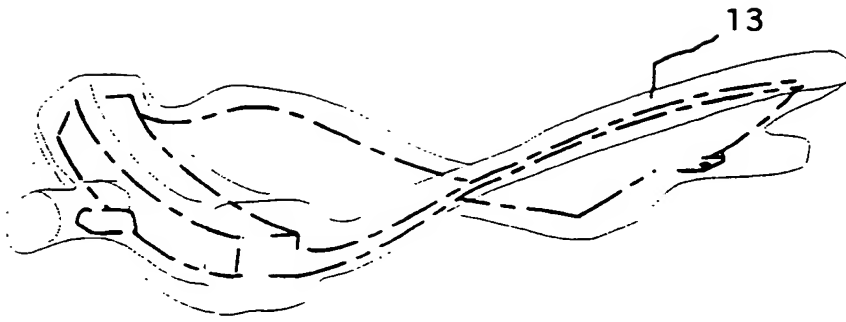
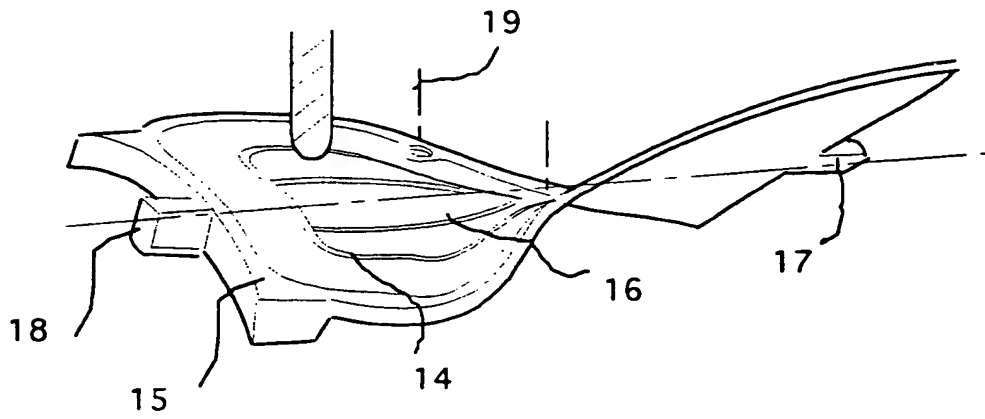
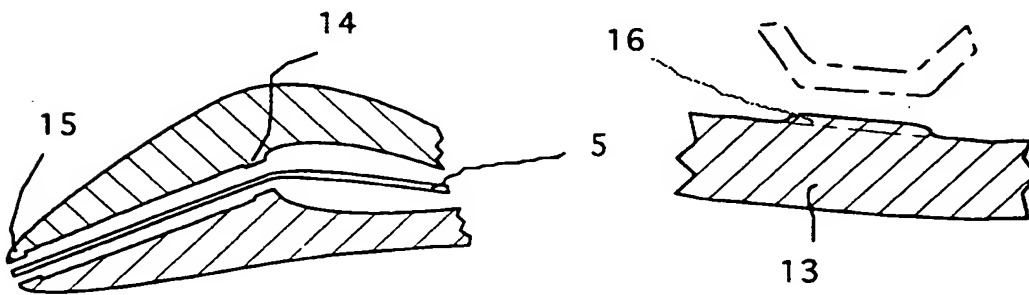
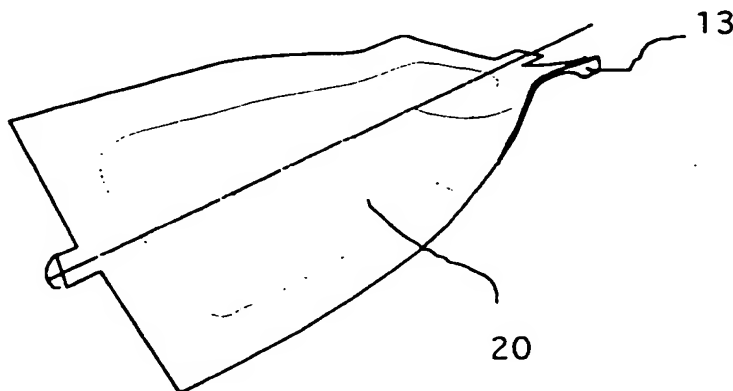
11. Procédé de fabrication d'une aube creuse de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 dans lequel à la suite de l'assemblage du sandwich (30), une cuisson du produit formant les barrières de diffusion est effectuée.

5

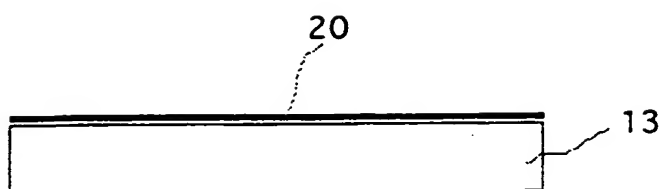
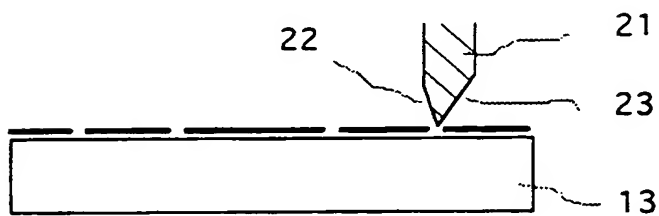
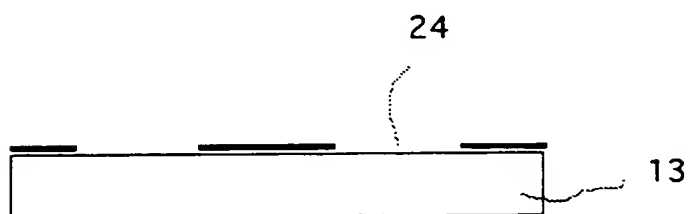
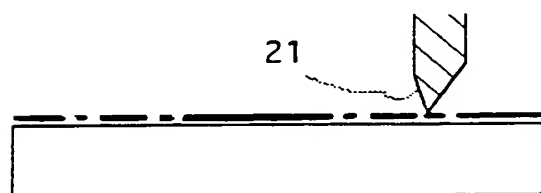
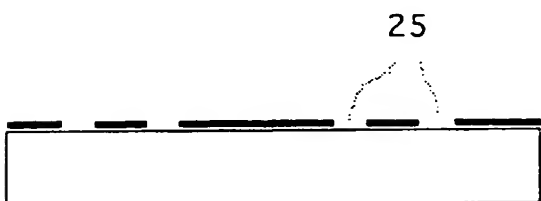
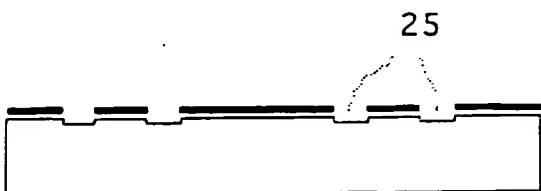
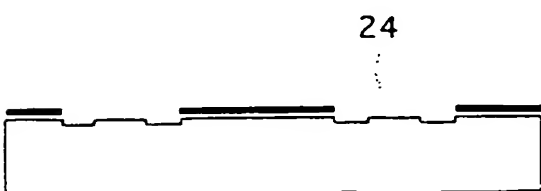
1/5

Fig.1Fig.3Fig.2Fig.4

2/5

Fig. 5Fig. 6Fig. 7Fig. 8Fig. 9

3/5

Fig. 10Fig. 11Fig. 12Fig. 13Fig. 14Fig. 15Fig. 16

4/5

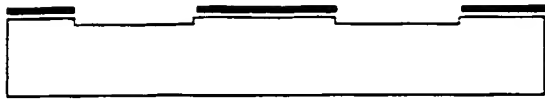


Fig. 17

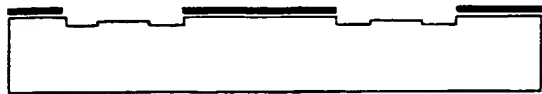


Fig. 18

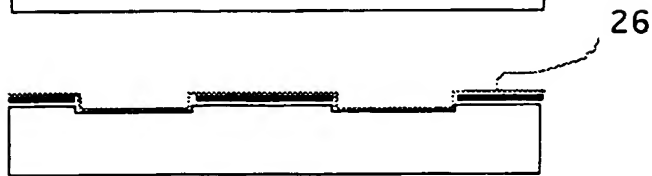


Fig. 19

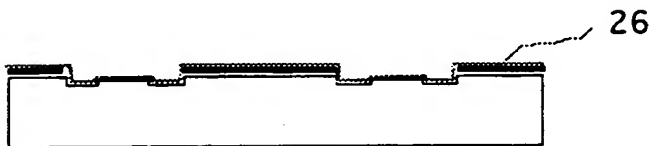


Fig. 20

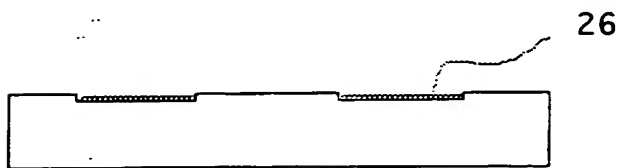


Fig. 21

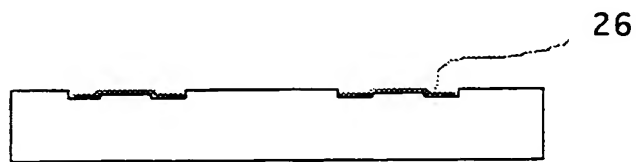


Fig. 22

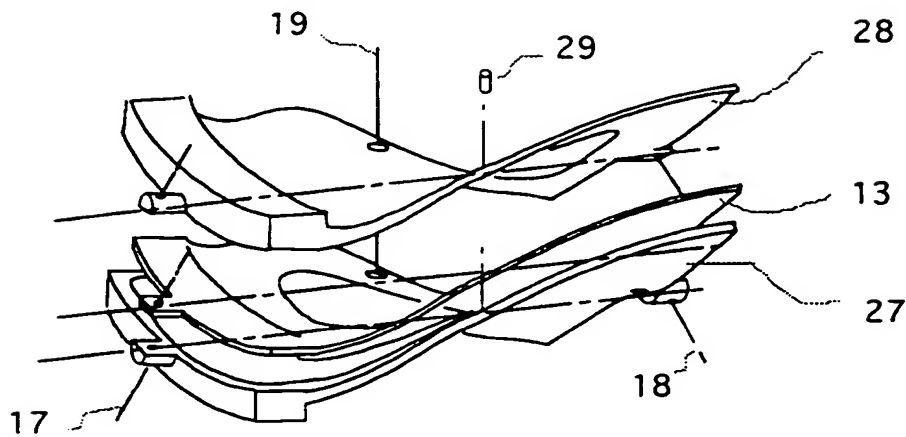
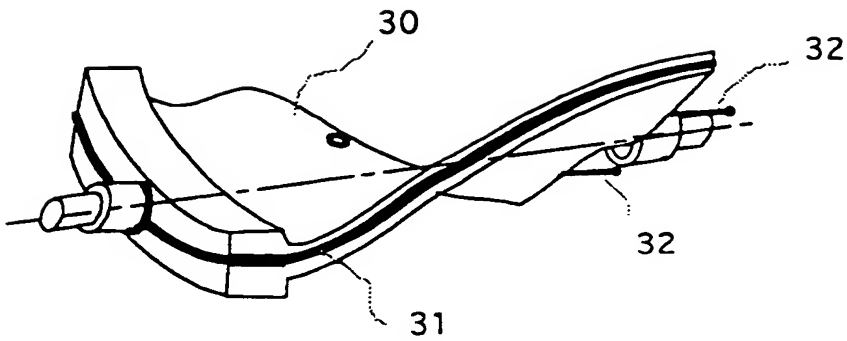
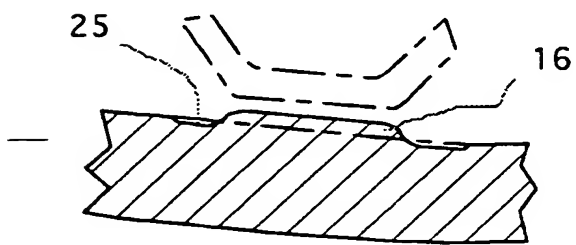
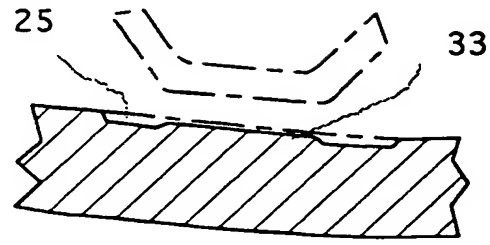
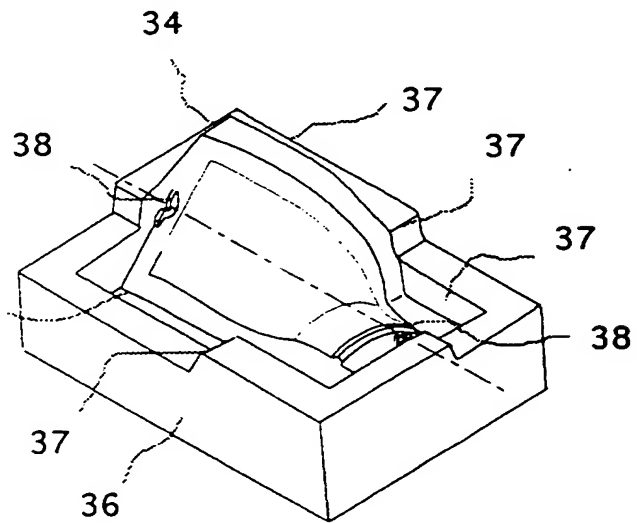
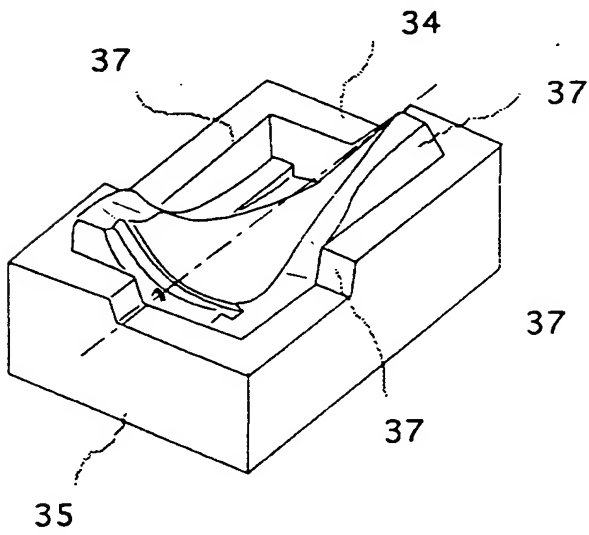
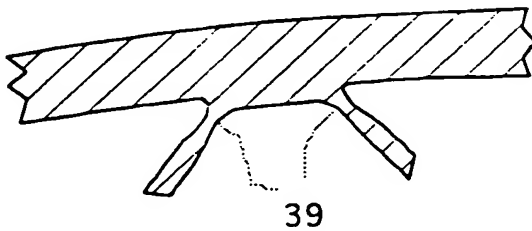


Fig. 23

5/5

Fig. 24Fig. 25Fig. 26Fig. 27Fig. 28

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US-A-5 269 058 (WIGGS ET AL) * colonne 7, ligne 3 - ligne 56 * * revendication 1; figures *	1,7-10
A	EP-A-0 500 458 (S.N.E.C.M.A.) * revendications; figures * * colonne 2, ligne 48 - colonne 3, ligne 15 *	1,4-6
A	GB-A-2 269 555 (ROLLS ROYCE PLC) * revendications; figures *	1-10
A	US-A-4 882 823 (WEISERT ET AL) * colonne 3, ligne 41 - colonne 6, ligne 58; figures *	1-4
A	GB-A-2 261 032 (MITSUBISHI) * revendications; figures *	1
A	EP-A-0 549 172 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * colonne 3, ligne 24 - colonne 6, ligne 23; figures *	1,2
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		B23P B21D B23K F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
28 Mai 1996		Plastiras, D
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1500 (12/82) (POMC13)